

報告日 2016年(平成28年)10月29日

報告者 信州大学 工学部 准教授

酒井 悟

1. 研究概要

(和文)

(1)課題名 (日本語)

多自由度油圧アームのオンライン・パラメータ同定法とカシミール関数に基づく
適応インピーダンス制御法

(2)研究者氏名

酒井 悟 信州大学 工学部 准教授

(3)研究概要 (日本文)

過去の応募者によるパラメータ同定法を用いると、スプール変位・ピストン位置・速度・圧力を用いるだけで、油圧アームを分解することも線形近似や試行錯誤を介することもなく、体積弾性係数や流量ゲインなどのパラメータを一意にオフライン同定できる。しかしオフライン同定だけでは、体積弾性係数などが時間変化する場合に不十分である。

本研究では過去の応募者によるパラメータ同定法を逐次化して、機械パラメータ(質量, 粘性摩擦係数, クーロン摩擦係数)と流体パラメータ(体積弾性係数, 流量ゲイン, 流量ゲイン, 漏れ係数)を一意にオンライン同定する手法を提案した。提案法の有効性が数値的かつ実験的に確認された。産業応用として実物機(提供元非公開)に提案法および応募者のインピーダンス制御を応用して有効性を確認した。

(4)キーワード

油圧ロボット, パラメータ同定, オンライン, 制御, 実装

(英文)

(1) Research title

On-line parameter identification and Casimir-based adaptive impedance control of hydraulic manipulators

(2) Name of researcher with title of position

Satoru Sakai, Associate Professor, Shinshu University

(3)Summary

This research has developed a new technology to estimate the physical parameters (e.g., the mass, the bulk modulus, and the flow gains) of nonlinear hydraulic arms in real time. The proposed technology is applied to the actual hydraulic arms as well as the numerical models and the validity is confirmed.

(4)Key Words

hydraulic robots, parameter identification, on-line, control, implementation

2. 本研究の意義・特色

油圧アームは建設機械など作業機械や橋脚など社会基盤の設計基準を定める震動台として重要な制御対象であり、機体と環境への依存度が強く、かつ、試行錯誤の多いモデルフリー制御からモデルベース制御への移行が強く望まれている。

既に、過去の応募者によるパラメータ同定法[A3]を用いると、スプール変位・ピストン位置・速度・圧力を用いるだけで、油圧アームを分解することなく、かつ、線形近似や試行錯誤を介することなく、体積弾性係数や流量ゲインなどのパラメータを一意にオフライン同定できる。しかしオフライン同定だけでは、油温に依存する体積弾性係数などの時間変化が生じる場合に不十分である。

本研究では、体積弾性係数や流量ゲインなどのパラメータを一意にオンライン同定する手法[01]を提案する。模型機に提案法を応用して数値的かつ実験的に有効性を確認する。さらに産業応用としての実物機(提供元非公開)に提案法および既報のインピーダンス制御を応用して有効性を確認する。油圧アーム以外のオンライン同定の実験的報告はあるが、数値的かつ実験的に有効性を議論するという意味で、信頼性の高い点が本研究の特色である。

3. 実施した研究の具体的内容、結果 (本文)

3. 1 準備

油圧アームの制御のための公称モデルの1つは

$$\begin{cases} \ddot{s} = -M^{-1}\{F_v\dot{s} + F_c\text{sgn}(\dot{s}) - (A_+p_+ - A_-p_-)\} \\ \dot{p}_+ = \frac{b}{V_{0+} + A_+(L/2 + s)}\{-A_+\dot{s} + C_f h_+ u - C_i(p_+ - p_-)\} \\ \dot{p}_- = \frac{b}{V_{0-} + A_-(L/2 - s)}\{+A_-\dot{s} - C_f h_- u + C_i(p_+ - p_-)\} \end{cases}$$

と表される。ただし、

$$h_+ := \sqrt{\left| \text{sgn}(-u)p_+ + \frac{1 + \text{sgn}(+u)}{2} p_s \right|} \quad h_- := \sqrt{\left| \text{sgn}(+u)p_- + \frac{1 + \text{sgn}(-u)}{2} p_s \right|}$$

である。図1と表1に同定対象の油圧アームを示す。

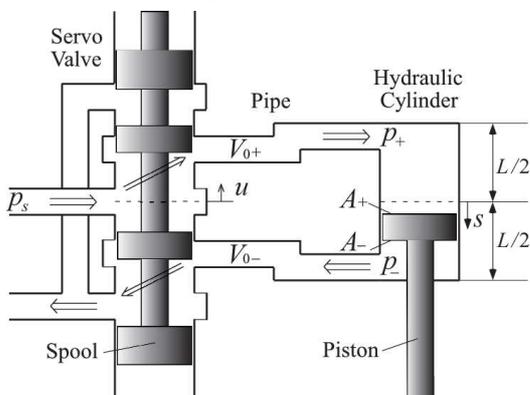


図1 油圧アーム (写真は模型機)

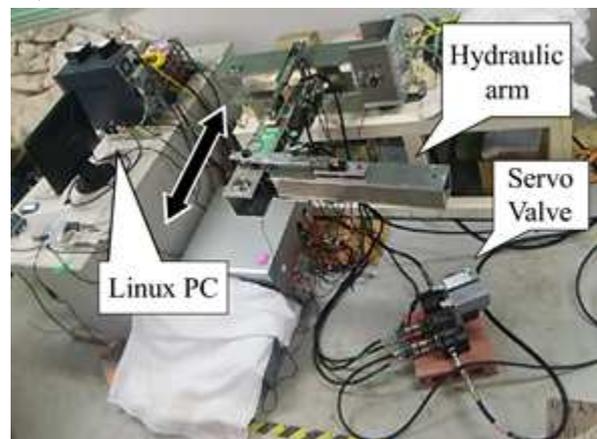


表 1 記号の定義 (太字 : 未知パラメータ)

Symbol	Parameter	Unit
s	Piston displacement	m
p_{\pm}	Pressure	Pa
u	Input	V
M	Inertia	—
F_v	Damping coefficient	N · s/m
F_c	Coulomb friction	N
b	Bulk modulus	Pa
$V_{0\pm}$	Pipeline volume	m ³
A_+	Cap area	m ²
A_-	Rod area	m ²
L	Stroke	m
C_{\pm}	Flow gain	m ² /(sV · √Pa)
C_i	Leakage coefficient	m ³ /(s · Pa)
p_s	Pump supply pressure	Pa

3. 2 提案法

過去の応募者によるパラメータ同定法[A3]を逐次化して、機械パラメータ(質量, 粘性摩擦係数, クーロン摩擦係数)および流体パラメータ(体積弾性係数, キャップ流量ゲイン, ロッド流量ゲイン, 漏れ係数)を一意にオンライン同定する手法[01]を提案する。

3. 3 結果と考察

図 2 と 図 3 に 7 つの未知パラメータをオンラインで数値的に同定した結果を示す。同定対象は 1ms で離散化された公称モデル, 同定周期は 10ms である。3 ケースの未知パラメータ初期値のもと, 最大 4 秒の整定時間で全パラメータはオフライン同定値に収束した。

既にオフライン同定値の公称モデル出力は実出力と十分に一致する[09]ため, 提案法の有効性が数値的に検証された。

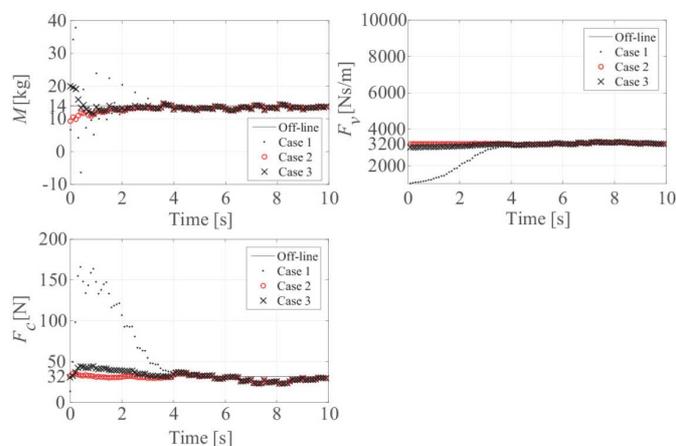


図 2 機械パラメータの同定結果 (数値)

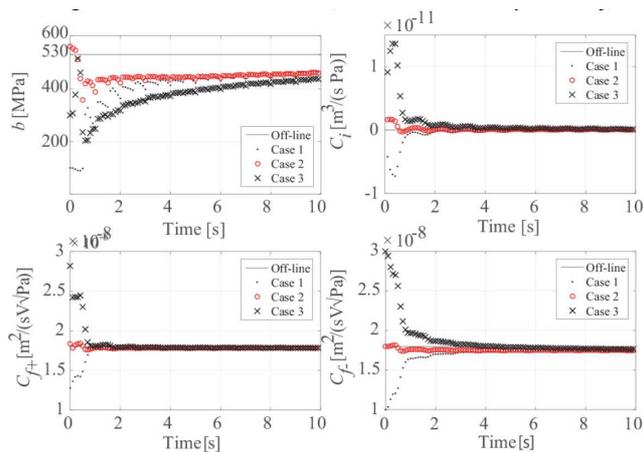


図3 流体パラメータの同定結果（数値）

図4と図5に7つの未知パラメータをオンラインで実験的に同定した結果を示す。同定対象は模型機であり、同定周期は10msである。3ケースの未知パラメータ初期値のもと、最大4秒の整定時間で全てのパラメータはオフライン同定値に収束した。

同定パラメータの定常特性だけでなく過渡特性においても数値結果と実験結果は十分に一致するため、提案法の有効性が実験的に検証された。産業応用として実物機(提供元非公開)に提案法および応募者のインピーダンス制御[ICRA12]を応用して有効性を確認した。

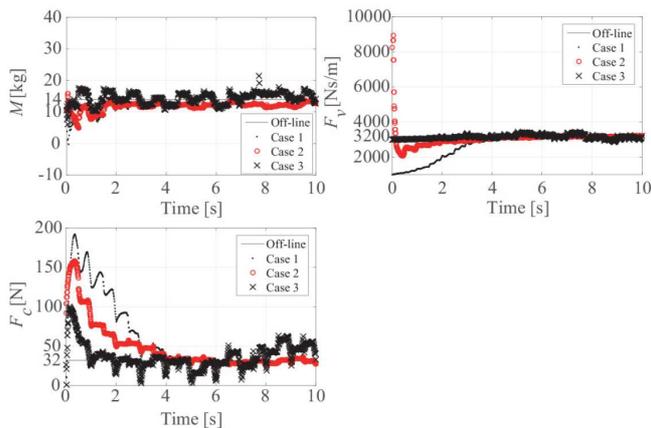


図4 機械パラメータの同定結果（実験）

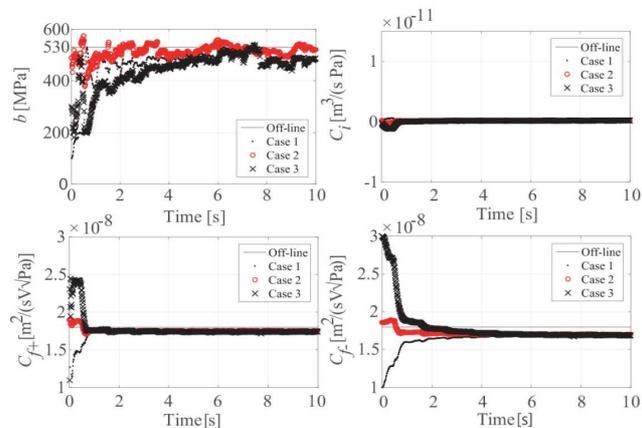


図5 流体パラメータ同定結果（実験）

4. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

酒井 悟 信州大学 准教授

5. 研究実施時期

2014年（平成26年）3月1日から 2016年（平成28年）8月25日

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

[01] 松本優司, 酒井 悟:

**油圧アームのオンライン物理パラメータ同定, 査読有
日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.47, No.5, pp.31-37, 2016.**

[02] Satoru Sakai, Yusuke Nabana:

**Optimal Non-Bernoulli Modeling Method for Experimental Hydraulic Robots, 査読有
Proc. of IEEE/RSJ International conference on intelligent robots and systems (IROS),
pp.2954-2959, 2016.**

[03] Yusuke Nabana, Satoru Sakai:

On the non-Bernoulli Modeling Method for Experimental Hydraulic Robots, 査読有
Proc. of SICE Annual Conference, Fr3A-5, 2016.

[04] Cheng Hongsheng, Satoru Sakai:

On the Fast Computational of Hydraulic Dynamics with Pipeline Effects, 査読有.
Proc. of SICE Annual Conference, We1E-4, 2016

[05] Takumi Nishiwaki, Toshinori Shintani, Satoru Sakai:

On the Casimir Based Position and Total pressure Control of Hydraulic Arms, 査読有
Proc. of SICE ISCS, 3A4-4, 2016.

[06] 新谷敏功, 酒井 悟:

1自由度油圧アームの非線形インピーダンス制御, 査読無
Proc. of SICE MSCS, 2B2-5, 2016.

[07] Yuji Matsumoto, Satoru Sakai:

On the On-line Parameter Identification for 1-DOF Hydraulic Arms, 査読有
Proc. of SICE ISCS, 514-3, 2015.

[08] Toshinori Shintani, Miki Ito, Satoru Sakai:

On the Pick-and-Place by Casimir Based Impedance Control for 1-DOF Hydraulic Arms, 査
読有
Proc. of SICE ISCS, 514-4, 2015.

[09] 酒井 悟, Yuzo Maeshima:

**A New Method for Parameter Identification for N-DOF Hydraulic Robots, 査読有
Proc. of IEEE International conference on robotics & automation (ICRA),
pp.5983-5989, 2014.**

7. 内外における関連研究の状況

下記の論文を含めて、継続的に国内外から関連研究が報告されている状況である。

[A1] 西海, 一柳, 加藤, 小波: 自励起振法を用いた油圧サーボアクチュエータ系の実時間パラメータ推定, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.36, No.1, pp.1-7, 2005.

[A2] Amit Mohanty, Bin Yao: Indirect adaptive Robust Control of Hydraulic Manipulators With Accurate Parameter Estimates, IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.19, No.3, pp.567-575, 2011.

[A3] 前島, 酒井, 中西, 大須賀: 油圧アームの基底パラメータ同定法とモデル検証, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.43, No.1, pp.16-21, 2012. 学術論文賞

8. 今後の発展に対する希望

過去の応募者によるパラメータ同定法と本研究の提案法によって、油圧アームのパラメータ同定法は電動アームと同程度の体系化に至ったと考えられる。つまり、スプール変位・ピストン位置・速度・圧力を用いるだけで、油圧アームを分解することなく、かつ、線形近似や試行錯誤を介することなく、体積弾性係数や流量ゲインなどのパラメータを一意にオフラインでもオンラインでも同定することができる。

ただし電動アームと比較すると、油圧アームでは、摩擦項が速度だけではなく圧力にも依存する点が異なる。実用的観点から、速度だけではなく圧力に依存する摩擦項を同定する手法の確立が重要である[02].